

CONTART 2018: VII Convención de la Edificación
30 mayo - 1 junio 2018; Zaragoza (Spain): Colegio Oficial de
Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Zaragoza. Escuela
Universitaria Politécnica de La Almunia, p.269-278

027

METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN PARA EDIFICIOS DE CONSUMO DE ENERGÍA CASI NULO DENTRO DEL PROYECTO NEED4B

MILLÁN BALLESTEROS, GEMA¹; ZAMBRANA VASQUEZ, DAVID ALEJANDRO²;
CONSERVA, ANDREA³; GIMENO FRONTERA, BEATRIZ⁴; MORALES GARCÍA, JAVIER⁵.

¹ Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos (CIRCE), Zaragoza, España
E-mail: gmillan@fcirce.es, Web: www.fcirce.es

² Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos (CIRCE), Zaragoza, España
E-mail: zambrana@fcirce.es, Web: www.fcirce.es

³ Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos (CIRCE), Zaragoza, España
E-mail: aconserva@fcirce.es, Web: www.fcirce.es

⁴ Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos (CIRCE), Zaragoza, España
E-mail: bgimeno@fcirce.es, Web: www.fcirce.es

⁵ Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos (CIRCE), Zaragoza, España
E-mail: jmorales@fcirce.es, Web: www.fcirce.es

PALABRAS CLAVE: Edificios de energía casi nula. Análisis de ciclo de vida. Eficiencia Energética en edificios. Comportamiento de usuarios. Herramientas de simulación energética.

RESUMEN

El sector de la edificación supone más del 40% del consumo total de energía en Europa. Por ello, la normativa europea trata de proporcionar herramientas suficientes para reducir el consumo energético de los edificios y mitigar, a su vez, los impactos medioambientales asociados. La Directiva Europea 2010/31/EU de Eficiencia Energética de Edificios (Directiva 2010/31/UE), junto con la Directiva Europea 2012/27/EC de Eficiencia Energética, establecen una serie de pautas, que, transpuestas a cada una de las regulaciones nacionales en los Estados Miembros, marcan una hoja de ruta para la consecución de una serie de

objetivos para el año 2020. En el caso de España, según se estableció en el Real Decreto 564/2017 (modificación del Real Decreto 235/2013), todos los edificios nuevos deberán ser de consumo de energía casi nulo a partir del 31 de diciembre de 2020. Al mismo tiempo que la normativa europea se actualizaba para conseguir reducir el impacto de los edificios en todos los Estados Miembros, el proyecto NEED4B, dentro del Séptimo Programa Marco de Investigación y Desarrollo de la Unión Europea, era aprobado para comenzar en febrero de 2012. Este proyecto, con una duración de 6 años, tiene como principal objetivo el desarrollo de una metodología replicable para el diseño, construcción y uso de edificios de consumo de energía casi nulo, siendo su objetivo 60kWh/m² año de consumo de energía primaria en 5 edificios demostradores, de distintas tipologías de uso y situados en distintas zonas climáticas en Europa. En esta comunicación se presenta la metodología desarrollada para la evaluación del impacto que tiene el uso en estos edificios, así como los principales resultados y conclusiones de su implementación por cada una de las fases en las que se divide, siendo de gran relevancia el análisis de las desviaciones entre la fase de diseño y la fase de uso de los distintos edificios.

1. INTRODUCCIÓN

El sector de la edificación en la Unión Europea (UE), representa aproximadamente el 40% del consumo total de energía final, y genera alrededor del 36% de las emisiones de CO₂ [1], [2]. A su vez, según el Plan de Eficiencia Energética de 2011, la Comisión Europea (CE) define el gran potencial de ahorro energético en el sector, estableciendo un ahorro mínimo entre el 60 y el 80% de Mtep/año para el año 2020, reduciendo así las emisiones de gases de efecto invernadero [1]. Para conseguir estos objetivos, la regulación europea sobre eficiencia energética en edificios: la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios [3], y la Directiva de 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética [4], definen una serie de objetivos, y establecen medidas a implementar en el sector de la edificación, en todos los Estados Miembros (EU-28). Los objetivos definidos por la normativa europea son fijados para el año 2020, y en el artículo 9 de la Directiva 2010/31/UE, se establece como objetivo específico, que antes de final del año 2020, todos los edificios de nueva construcción, tengan un consumo de energía casi nulo o muy bajo, es decir, Nearly Zero-Energy Buildings, (NZEB) [2], [3]. Por otro lado, en cuanto a edificios nuevos, ocupados y cuya propiedad sea de autoridades públicas, la fecha se adelanta al 31 de diciembre de 2018. En el artículo 2, apartado 2, de la Directiva 2010/31/UE, se define “edificio de consumo de energía casi nulo” como “un edificio con un nivel de eficiencia energética muy alto”, por otro lado, “la cantidad casi nula o muy baja de energía requerida, debería ser cubierta, en muy amplia medida, por energía procedente de fuentes renovables” [2], [3]. En relación a la valoración del consumo energético de los edificios, el indicador principal empleado por los UE-28, será el indicador numérico del uso de energía primaria expresado en kWh/m²año [2].

Tras la aprobación de la Directiva 2010/31/UE, y su posterior transposición en los EU-28, las normativas vigentes en el sector de la edificación, en materia de eficiencia energética, se han ido revisando para adaptar los objetivos individuales, a los establecidos desde la UE. En el caso de España, el Código Técnico de la Edificación (CTE), aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, se modifica, actualizando el Documento Básico DB-HE “Ahorro de Energía”, aprobado por la Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre,

incluyendo una nueva sección HE 0 “Limitación del consumo energético”. Recientemente, teniendo en cuenta las exigencias y los objetivos establecidos por la Directiva 2010/31/UE para todos los UE-28, el documento se modifica en junio de 2017, incluyendo en la sección HE 0 la definición de “edificio de consumo de energía casi nulo” en su apéndice A de terminología. Dicha definición hace referencia a un “Edificio que cumple con las exigencias reglamentarias para edificios de nueva construcción en las diferentes secciones de este Documento Básico” [5], y desde la CE se han definido unas estimaciones de rangos de consumo de energía primaria, según tipología de edificio y según la zona climática, incluso el nivel de cobertura por parte de fuentes renovables [2]. Por ello, en el caso de España, un edificio nuevo que cumpla las exigencias del Código Técnico de la Edificación, será ya considerado edificio de energía casi nulo. La normativa, por tanto, proporciona unas herramientas para el diseño de edificios eficientes a partir de unos valores mínimos a cumplir. Así pues, continuando con el caso de España, desde la aprobación del Real Decreto 47/2007 de Certificación de Eficiencia Energética de Edificios, y el uso de las Auditorías Energéticas como herramienta principal de evaluación del consumo energético de cualquier tipo de instalación, se ha visto que el consumo de los edificios previsto en su fase de diseño difiere del consumo real durante la operación de los mismos.

En este contexto, dentro del proyecto europeo “New Energy Efficient Demonstration for Buildings” (NEED4B¹) se desarrolla una metodología para la construcción de edificios de consumo de energía casi nulo. La metodología incluye tanto el diseño del edificio, como el proceso de construcción, e incluso el uso que se hace de éste. Se desarrolla a su vez el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de cada una de estas fases, incluyendo también el fin de vida del edificio. Así pues, el proyecto desarrolla una metodología, que se implementa en cinco edificios demostradores, de distintos usos (residencial y terciario), con una superficie total de 23.560m² en cuatro países europeos con distintas condiciones climatológicas (clima mediterráneo, oceánico y continental) que demuestran la viabilidad, al tiempo que sirven de referencia de nZEB, para distintas tipologías edificatorias y ubicaciones. El objetivo a conseguir, implementando dicha metodología, es un consumo de energía primaria inferior a 60 kWh/m²año. Sí bien, aunque no son comparables entre sí, debido a disponer de un objetivo común de demanda energética, las soluciones técnicas empleadas pueden ser replicables y sirven de referencia para la construcción de nuevos nZEB. Para ello, se analizan todas las fases de la vida de un edificio desde su diseño, y una vez construido, se monitoriza la fase de uso durante dos años consecutivos para analizar el impacto que tiene el factor usuario sobre el consumo energético. Cabe señalar, que otro objetivo definido a alcanzar, es utilizar soluciones cuya inversión tenga un periodo de retorno alrededor de 10 años máximo.

De este modo, para poder conseguir la realidad esperada de un edificio NZEB, es necesario considerar, una vez construido el edificio, si realmente se ha construido siguiendo los criterios de diseño, y, por otro lado, si una vez ocupado, se hace un uso eficiente de él, acorde a lo definido en la fase de diseño. Será pues, este último punto, el que se desarrolle en este documento.

¹ www.need4b.eu

2. METODOLOGÍA

La Figura 1 muestra la metodología propuesta para el análisis del impacto del uso de los edificios demostradores, en la que se han definido una serie de indicadores, y han sido evaluados en 4 pasos.



Figura 1. Metodología de evaluación de indicadores.

En la primera fase, se han recogido todos aquellos datos, e indicadores evaluados en las distintas fases del proyecto, así como aquellos indicadores establecidos por la UE a través de la plataforma Smart Cities Information System [6]. Una vez analizada toda la información disponible, los indicadores se han filtrado y clasificado según los criterios de evaluación necesarios para analizar el comportamiento de los edificios.

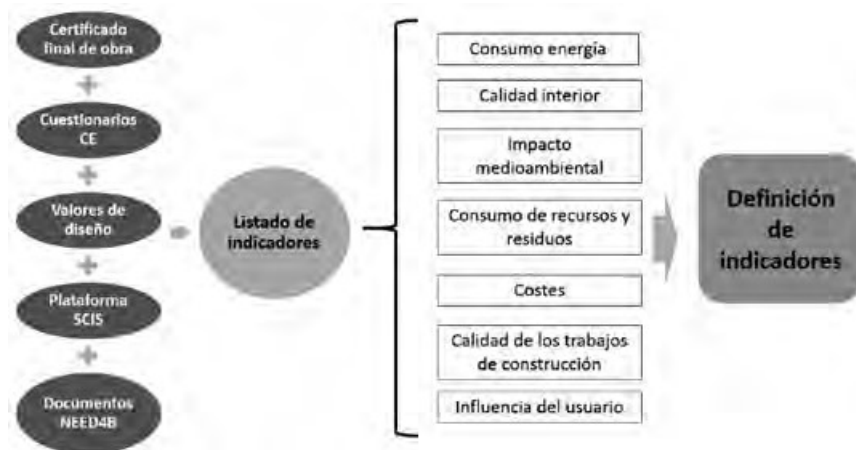


Figura 2. Fases 1 y 2 de la metodología de análisis de indicadores de evaluación.

Para cada indicador, se definen las unidades de medida y se procede a su evaluación, para posteriormente, hacer las comparaciones necesarias que determinarán el impacto de determinadas variables sobre el funcionamiento de los edificios. Existen valores iniciales que provienen de las fases de diseño de los edificios, también indicadores definidos por la normativa vigente durante la fase de diseño, o una vez finalizado el edificio, si pasado ese tiempo, se ha actualizado. La comparativa entre valores iniciales, y valores obtenidos de la fase de uso, a través del sistema de monitorización, dará la información necesaria para conocer el funcionamiento real del edificio, y la desviación con los valores previstos inicialmente. Toda esta información, ha de ser correctamente validada por los gestores o propietarios de los edificios, ya que es probable que las desviaciones sean debidas a cambios en el uso del edificio o circunstancias particulares.

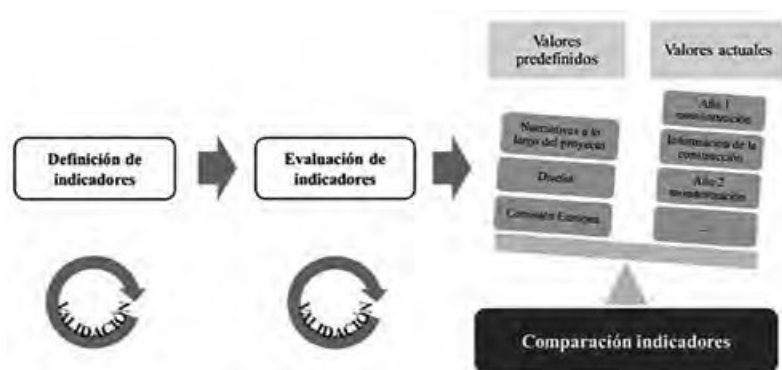


Figura 3. Fases 3 y 4 de la metodología de análisis de indicadores de evaluación.

Los principales indicadores para poder determinar el correcto funcionamiento de un edificio según lo definido en fase de diseño y construcción, son el consumo (kWh), las emisiones (kgCO_2) y los costes (€) asociados. A través de la plataforma de monitorización diseñada dentro del proyecto NEED4B para recoger todos los datos asociados al funcionamiento diario de los edificios, se obtienen las variables que definirán los indicadores. En la fase de uso, a través del sistema de monitorización, se obtienen valores de funcionamiento real, que, en el caso de los indicadores energéticos, estarán definidos en energía final, y que será necesario transformar a energía primaria, tal como se requiere desde la UE [2].

Así pues, el indicador principal, que ayudará a evaluar el comportamiento de los edificios, según el cuarto paso definido en la Figura 4, será la energía primaria por superficie bruta acondicionada, kWh/m^2 [1]. Este valor, se obtiene a partir de la energía final medida a través del sistema de monitorización instalado en cada uno de los edificios. A partir de este valor, y utilizando los factores de conversión nacionales o europeos, establecidos para transformar la energía final en energía primaria (kWh/m^2), emisiones de CO_2 (kgCO_2/m^2) y coste (€/m^2) [7], [8], se obtendrán el resto de indicadores. Todos los indicadores estarán repartidos según los usos de la energía en cada edificio: calefacción, refrigeración, ventilación, iluminación, agua caliente sanitaria y consumo de las bombas hidráulicas.

4. CASOS DE ESTUDIO

Como caso de estudio para la demostración y validación de la metodología desarrollada, así como de la eficacia de las tecnologías empleadas dentro del proyecto NEED4B, se dispone de 5 edificios, que se clasifican teniendo en cuenta la climatología en la que se encuentran emplazados (Figura 5).

Tabla 1. Características de los edificios demostradores

Climatología	Tipología	Uso	Superficie acondicionada
Océanico	Residencial	Vivienda unifamiliar	278m ²
Mediterráneo (I)	Terciario	Comercial y administrativo	5.214 m ²
Mediterráneo (II)	Terciario	Académico	17.756 m ²
Continental (I)	Residencial	Vivienda laboratorio	314 m ²
Continental (II)	Residencial	Vivienda unifamiliar	314m ²



Figura 5. Localización de los casos de estudio según tamaño de superficie.
O: Oceánico; C:Continental; M: Mediterráneo.

4. RESULTADOS

Se presenta el análisis de los 5 edificios únicamente desde el punto de vista del consumo energético, con el fin de determinar si la metodología definida en el proyecto NEED4B, ha conseguido su objetivo: que los edificios sean NZEB, con un consumo de energía primaria inferior a 60kWh/m^2 .

Tabla 2. Tabla resumen de los consumos de energía primaria en los casos de estudio.

	Consumo estimado (kWh/m^2 año)	Consumo real (kWh/m^2 año)
C. oceánico	32,00	28,71
C. mediterráneo (I)	44,96	58,44
C. mediterráneo (II)	35,09	36,37
C. continental (I)	51,90	35,23
C. continental (II)	51,90	41,43

Como puede verse en la tabla anterior, en fase de diseño, todos los edificios se habían definido con criterios de eficiencia que minimizaran su consumo energético, pero en la etapa de uso, aunque aumenta, se mantienen los valores de consumo de energía primaria por debajo del objetivo establecido ($60\text{kWh/m}^2\text{año}$). Si bien, tal y como se puede apreciar, tanto en la Tabla 2 como en la Figura 6, en los casos de estudio de los climas mediterráneos, el consumo real está por encima del consumo estimado.

Durante la fase de diseño, se han de estimar una serie de conceptos relacionados con el uso del edificio, desde niveles de ocupación, horarios, patrones y hábitos de los usuarios, o equipos, que, en el caso de los edificios residenciales, éstos tienen un mínimo impacto, y no

se han de tener en cuenta en el cálculo de la demanda energética, frente a edificios terciarios donde su repercusión es mayor.

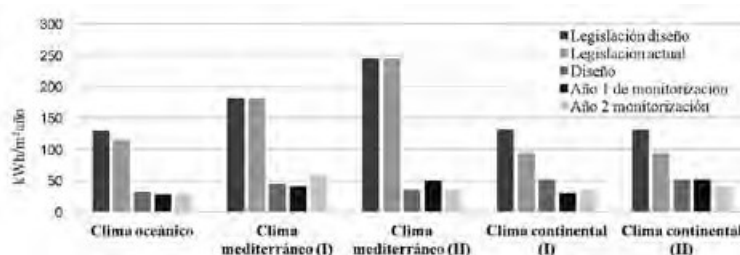


Figura 6. Gráfico de evolución de los consumos de energía primaria ($\text{kWh/m}^2\text{año}$) en cada una de las fases de evaluación.

Es por ello, que, en los casos de estudio correspondientes a vivienda residencial, el consumo es menor, y bastante estable, sobretodo en el caso del clima oceánico y el continental (II). Los dos casos de clima mediterráneo, corresponden a un edificio terciario, que, aunque de distinto uso, en ambos el factor usuario tiene un gran impacto en el consumo energético, sobre todo si se compara el consumo estimado, con el consumo real, o incluso entre distintos años de uso. Si, además se tiene en cuenta el aumento de las necesidades de refrigeración en el clima mediterráneo [9], [10], que viene incrementado por los distintos niveles de ganancias internas, debidas principalmente al grado de ocupación, y hábitos de uso, la diferencia es todavía mayor.

Se han llevado a cabo distintos estudios comparativos, que intentan ayudar tanto a la comprensión de la metodología desarrollada en el proyecto NEED4B, como a la evaluación del funcionamiento de los edificios. Por un lado, en relación a cómo fue el proceso de diseño de los edificios, la Tabla 3, muestra la diferencia de consumo estimado en cada uno de los edificios. Como ya se ha comentado previamente, el objetivo de la metodología desarrollada era conseguir edificios de bajo consumo, inferior a $60\text{kWh/m}^2\text{año}$ de energía primaria. Por ello, tras el análisis de la normativa vigente en cada uno de los países durante la fase previa al diseño, se tuvo que partir de condiciones de eficiencia mucho más restrictivas que lo que dictaba cada una de las regulaciones nacionales, para poder conseguir el objetivo. La duración del proyecto ha sido de 6 años, por lo que en muchos de los países de la UE se ha modificado la normativa durante este periodo para adaptarla a los objetivos definidos por la Directiva 2010/31/UE [2], [3]. Se puede ver en la misma tabla y en la Figura 6, tanto el descenso de los consumos debido a la restricción de la normativa en los últimos años, como la diferencia de un edificio de bajo consumo energético respecto a lo que se exige actualmente por las normativas europeas.

Tabla 3. Comparativa de los consumos en fase de diseño.

	Diseño vs Legislación diseño	Legislación actual vs Legislación diseño	Diseño vs Legislación actual
C. oceánico	-75%	-12%	-72%
C. mediterráneo (I)	-75%	0%	-75%
C. mediterráneo (II)	-86%	0%	-86%
C. continental (I)	-60%	-28%	-45%
C. continental (II)	-60%	-28%	-45%

En cuanto al análisis que se ha llevado a cabo sobre el uso en cada uno de los edificios demostradores, tras dos años de monitorización de las distintas variables que influyen en los consumos energéticos, los edificios de uso residencial tienen un consumo inferior al valor estimado en la fase de diseño. En cambio, aunque no en la misma medida, los edificios terciarios, estando ambos localizados en la misma zona climática, tienen un consumo superior al esperado. En este análisis, podemos analizar independientemente cada uno de los años de monitorización y cada uno de los edificios (Figura 6). En el caso del edificio mediterráneo (I), el primer año de monitorización, detectó un consumo energético inferior al estimado, pero tras la ocupación completa del edificio, el consumo ha aumentado. Así pues, el problema detectado está relacionado con el nivel de ocupación, y por tanto al nivel de cargas internas del edificio. Por otro lado, en relación al edificio mediterráneo (II), el consumo aumentó en un 43% (Figura 6) con respecto al consumo estimado. Tras un año de funcionamiento, gracias a la calibración y ajuste de los sistemas, y sobre todo a través de la concienciación de los usuarios, se ha conseguido optimizar el uso, y reducir por tanto el consumo energético en un 41%.

Tabla 4. Comparativa de los consumos en fase de uso.

	Año 2 vs Diseño	Año 2 vs Año 1
C. oceánico	-10%	+2%
C. mediterráneo (I)	+30%	+41%
C. mediterráneo (II)	+4%	-27%
C. continental (I)	-32%	+14%
C. continental (II)	-20%	-20%

Si se hace una valoración de la proyección futura del comportamiento de estos edificios, se puede llegar a la conclusión, que, durante los próximos 10 años, no va a haber cambio alguno en el comportamiento de los edificios, siendo que éste se ha optimizado durante los dos años de monitorización. Pasado ese tiempo, si el uso de éstos sigue siendo el mismo, para poder mantener los consumos dentro de los límites establecidos, es posible que sea necesario llevar acciones de mejora sobre el edificio y los sistemas, reemplazando algunos componentes por otros de mejores características. El ACV desarrollado en el proyecto tuvo en cuenta esta posible sustitución de materiales y componentes a lo largo de la vida del edificio, aunque no su posible repercusión en el consumo de los sistemas energéticos, al ser éste un estudio estático y no dinámico. Por ello, el análisis expuesto en este documento,

dentro del proyecto NEED4B, se ha llevado a cabo a partir de datos estáticos recogidos de un sistema de monitorización durante dos años. Futuros trabajos de investigación pueden incluir un análisis dinámico para poder estudiar diferentes escenarios a largo plazo.

5. CONCLUSIONES

Así pues, analizando las distintas fases de los edificios, en cuanto al diseño, se concluye, que la normativa actual vigente, en fase de diseño de un edificio, no es suficiente para conseguir que un edificio sea NZEB, por ejemplo, en el caso de España, como se expone en el CTE en su DB-HE. Además, en relación a la construcción, tal y como se ha definido en la metodología del proyecto NEED4B, es necesario prestar mucha atención a la calidad de los trabajos de construcción, llevando a cabo un exhaustivo control durante esta fase. Las normativas nacionales especifican una serie de criterios de diseño, que, si no están convenientemente ejecutados, el comportamiento del edificio diferirá en gran medida con lo estimado. Finalmente, en cuanto a la fase de uso del edificio, es conveniente prestar gran atención a este punto, ya que es fundamental para conseguir el objetivo, reducir el consumo en el sector de la edificación en los EU-28. Independientemente de la baja demanda energética de un NZEB y de los sistemas eficientes que la cubren, el consumo energético puede verse incrementado en gran medida debido a un mal uso, o uso ineficiente del edificio, siendo parecido a uno convencional. Tal y como incluye la metodología NEED4B, una medida de control para asegurar un correcto funcionamiento de un NZEB, será la instalación de un sistema de control y monitorización, que asegure unas condiciones de confort adecuadas, y que programe y regule el funcionamiento del edificio de forma automática según los parámetros definidos. Además, es importante destacar la necesidad de concienciación de los usuarios en eficiencia energética. Esta conclusión, sobretodo se pone de manifiesto en edificios terciarios, y no tanto en el sector residencial.

Teniendo en cuenta estos puntos, y la experiencia adquirida, a través de la construcción cada vez más eficiente de edificios en los últimos años en Europa, es posible conseguir que los nuevos edificios que se vayan construyendo en Europa en los próximos años sean NZEB. El principal reto se ha de centrar en el sector de edificios terciarios, y sobre todo en edificios públicos o de uso público.

6. RECONOCIMIENTOS

Este documento se ha desarrollado bajo el marco del proyecto ‘New Energy Efficient Demonstration for Buildings’ NEED4B financiado por la UE, por el programa Seventh Framework Programme [EeB.ENERGY.2011.8.1-1], con número de proyecto 285173.

7. ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

UE: Unión Europea.

CE: Comisión Europea.

EU-28: Países miembros de la UE desde el 1 de julio de 2013.

NEED4B: New Energy Efficient Demonstration for Buildings.

CTE: Código Técnico de la Edificación.

DB: Documento Básico.

NZEB: Nearly Zero-Energy Building.
ACV: Análisis de Ciclo de Vida.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS (Y CITAS EN EL TEXTO)

- [1] Buildings Performance Institute Europe (BPIE), «Europe's buildings under the microscope - A country-by-country review of the energy performance of buildings,» 2011.
- [2] European Comission, «Recomendación (UE) 2016/1318 de la Comisión, de 29 de julio de 2016, sobre las directrices para promover los edificios de consumo de energía casi nulo y las mejores prácticas para garantizar que antes de que finalice 2020 todos los edificios nuevos sean e,» DOUE-L-2016-81405, 2016.
- [3] European Commission, «Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings,» Official Journal of the European Union, 2010.
- [4] European Commission, «Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC,» Official Journal of the European Union 315, 2012.
- [5] Ministerio de Fomento - Gobierno de España, «Documento Básico HE - Ahorro de Energía,» Orden FOM/588/2017, de 15 de junio, Junio 2017.
- [6] European Union, «EU Smart Cities Information System,» January 2018. [En línea]. Available: <http://smartcities-infosystem.eu/>. [Último acceso: 30 January 2018].
- [7] Ministerio de Industria, Energía y Turismo, «Factores de Emisión de CO2 y Coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España,» 2014.
- [8] International Institute for Sustainability Analysis and Strategy (IINAS); UWE R. Fritsche, Hans-Werner GreB, «Development of the Primary Energy Factor of Electricity Generation in the EU-28 from 2010-2013,» Darmstadt, March, 2015.
- [9] European Environment Agency, «Heating and cooling degree days,» Copenhagen, 2016.
- [10] European Environment Agency, «Indicators - Heating and cooling degree days,» EEA, 19 December 2016. [En línea]. Available: www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/heating-degree-days/assessment. [Último acceso: 29 enero 2018].